

СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЕРЕМЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И КРАСНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ИНКУБАЦИИ НА РОСТ, МЕТАБОЛИЗМ КУРИНЫХ ЭМБРИОНОВ И КАЧЕСТВО СУТОЧНЫХ ЦЫПЛЯТ ЯИЧНОГО КРОССА

М.И. Челнокова, кандидат биологических наук, Ф.И. Сулейманов, доктор ветеринарных наук, А.А. Челноков, доктор биологических наук

¹Великолукская государственная сельскохозяйственная академия,
182112, Псковская обл., Великие Луки, просп. Ленина, 2
E-mail: marinachelnokova@yandex.ru

Исследование проводили с целью оценки влияния переменной температуры и красного светодиодного освещения отдельно и в сочетании во время инкубации яиц на рост куриных эмбрионов, развитие их висцеральных органов и метаболизм, а также качество суточных цыплят. Инкубацию яиц кросса Ломани Браун (n=600) с 1 по 21 день проводили в инкубаторе ИЛБ-0,5 с использованием 3 режимов: ПТ – инкубация при переменных температурах в темноте (37,8 °С – 1...14 сутки; 39,5 °С в течение 2 ч ежедневно – 15...17 сутки; 37,5 °С – 18 сутки; 37,0 °С – 19...21 сутки; относительная влажность воздуха – 57,0 %); КС – круглосуточное красное освещение при стандартной температуре инкубации 37,6±0,1 °С с относительной влажностью воздуха 55,0 %; ПТ+КС – инкубация при переменных температурах с круглосуточным красным освещением. С использованием морфометрических методов проведена оценка роста-весовых показателей куриных эмбрионов, их висцеральных органов (сердце, мышечный желудок, печень, селезёнка), длины и массы тела суточных цыплят. Для оценки частоты сердечных сокращений (ЧСС), интенсивности дыхания по CO₂ и теплопродукции у куриных эмбрионов использовали метод скейлинга. Режим ПТ+КС к периоду вылупления (19 сутки) приводил к снижению массы тела эмбрионов, по сравнению с КС, на 3,464 г, массы селезёнки, в сравнении с ПТ, – на 0,005 г, но оптимизировал уровень метаболизма (по выделению CO₂), по сравнению с указанными вариантами, соответственно на 47,20 и 21,42 мл/ч. ЧСС и уровень теплопродукции эмбрионов кур на 19 сутки при разных режимах инкубации варьировали в незначительных пределах без чётких различий. Эффект режима ПТ+КС проявлялся повышением массы тела цыплят, в сравнении с ПТ, на 1,93 г. Предполагаемые нейроэндокринные механизмы регуляции роста, метаболизма, иммунных реакций, терморегуляции и реакций на стресс куриных эмбрионов на основе синергетического эффекта ПТ+КС представлены в виде блок-схемы.

THE SYNERGISTIC EFFECT OF VARIABLE TEMPERATURE AND RED LED LIGHTING DURING INCUBATION ON THE GROWTH, METABOLISM OF CHICKEN EMBRYOS AND THE QUALITY OF DAY-OLD EGG-CROSS CHICKENS

Chelnokova M.I., Suleymanov F.I., Chelnokov A.A.

¹State Agricultural Academy of Velikie Luki,
182112, Pskovskaya obl., Velikie Luki, prosp. Lenina, 2
E-mail: marinachelnokova@yandex.ru

The effect of variable temperature, red LED lighting and variable temperature with red LED lighting during egg incubation on the growth of chicken embryos, the development of their visceral organs and metabolism, as well as the quality of day-old chickens were studied. Incubation of Lohmann Brown cross eggs (n=600) from 1 to 21 days was carried out in an ILB-0.5 incubator using 3 modes: VT – incubation at variable temperatures in the dark (37.8 °C – 1...14 days; 39.5 °C for 2 hours daily – 15...17 days; 37.5 °C – 18 days; 37.0 °C – 19...21 days; relative humidity – 57.0%); RL – round-the-clock red LED lighting at a standard incubation temperature of 37.6±0.1 °C with a relative humidity of 55.0%; VT+RL – incubation at variable temperatures with round-the-clock red LED lighting. Morphometric methods were used to evaluate the height and weight parameters of chicken embryos, their visceral organs (heart, muscular stomach, liver, spleen), and the length and body weight of day-old chickens. To assess the heart rate, respiration rate by CO₂, heat production in chicken embryos, the scaling method was used. The results of the studies showed that the VT+RL regime by the hatching period (day 19) suppressed the growth of embryo body weight by 3.464 g, compared with RL and spleen weight by 0.005 g compared with VT, but optimized the metabolic rate (by CO₂ release) by 21.42 and 47.20 ml/h compared to with VT and RL options. The heart rate and the level of heat production of chicken embryos on day 19 varied slightly under different incubation regimes and differences were no revealed. The effect of the VT+RL regime was manifested by an increase in the body weight of chickens by 1.93 g compared to VT. The proposed neuroendocrine mechanisms of regulation of growth, metabolism, immune responses, thermoregulation and stress responses of chicken embryos based on the synergistic effect VT+RL are discussed in the form of a block diagram.

Ключевые слова: куриные эмбрионы, переменная температура, красный светодиодный свет, висцеральные органы, частота сердечных сокращений, метаболизм, теплопродукция, гипоталамо-гипофизарная система, эпигенетическая адаптация.

Key words: chicken embryos, variable temperature, red LED light, visceral organs, heart rate, metabolism, heat production, hypothalamic-pituitary system, epigenetic adaptation.

Рост и метаболизм суточного цыплёнка в основном определяют процессы, происходящие во время эмбрионального развития. Основная цель коммерческих инкубаториев – достижение максимального вывода высококачественных суточных цыплят. Для решения этой задачи жизненно важно определить факторы, влияющие на оптимальное эмбриональное развитие кур [1]. Такие физиологические параметры, как теплопродукция, метаболизм, газообмен (O₂, CO₂), имеют решающее значение для

развития куриных эмбрионов и их выживания в процессе инкубации. Изменять эти физиологические параметры и влиять на эмбриональное развитие птицы могут такие условия инкубации, как температура, свет, гипоксия, гипероксия и гиперкапния [1, 2].

В естественных условиях инкубации происходят изменения температуры и освещения, когда наседка покидает гнездо для кормления и поения [3] или поднимается, чтобы перевернуть яйца в ответ на зов эмбриона [4].

Переменные температуры инкубации, а также освещение яиц светодиодными лампами положительно влияет на эмбриональный рост, выводимость, качество цыплят и их рост после вылупления [5, 2]. Варьирование температуры и освещения (фотопериод, цвет, интенсивность освещения) яиц во время инкубации способствует адаптации цыплят к окружающей среде после вылупления посредством адаптивной реакции. Это обусловлено эпигенетическими изменениями в ходе эмбриогенеза, которые служат основными механизмами адаптации к постинкубационной среде продуктивной птицы [2]. Однако до сих пор нет сведений о синергетическом воздействии переменной температуры и красного светодиодного освещения во время инкубации яиц на рост, метаболизм куриных эмбрионов яичного кросса и качество суточных цыплят.

Цель исследования – оценка влияния переменной температуры, красного светодиодного освещения отдельно и в сочетании во время инкубации яиц на рост куриных эмбрионов, развитие их висцеральных органов и метаболизм, а также качество суточных цыплят яичного кросса Ломанн Браун.

Методика. Объектом для исследований служили инкубационные яйца кур кросса Ломанн Браун (ОАО «Волжанин» Ярославская область, пос. Ермаково), которые по комплексу основных показателей соответствовали нормативам, подтверждающим их качество. Возраст поголовья родительского стада, от которого получено инкубационное яйцо, – 30 недель. Инкубацию яиц с 1-го по 21-й день проводили в инкубаторе ИЛБ-0,5 (Волгасельмаш, Россия) с использованием 3 режимов:

ПТ – инкубация при переменных температурах в темноте (37,8 °C – 1...14 сутки; 39,5 °C в течение 2 ч ежедневно – 15...17 сутки; 37,5 °C – 18 сутки; 37,0 °C – 19...21 сутки; относительная влажность воздуха – 57,0 %);

КС – круглосуточное красное освещение при стандартной температуре инкубации 37,6±0,1 °C с относительной влажностью воздуха 55,0 %;

ПТ+КС – инкубация при переменных температурах с круглосуточным красным освещением.

В предварительных исследованиях мы установили, что максимальная скорость роста эмбрионов кросса кур Ломанн Браун наблюдается при красном светодиодном спектре с длиной волны 632 нм, чем при зелёном [6]. А. Drozdova с соавторами [7] обнаружили, что инкубация яиц при красном (длина волны 632 нм) освещении яиц, по сравнению с синим (463 нм), приводила к увеличению массы тела цыплят в постнатальный период (с 18 по 21 дни). Поэтому для освещения яиц во время инкубации использовали красные светодиодные неоны (Elektrostandard LS001, Россия-Китай), которые устанавливали на верхней части инкубатора. Они излучали монохроматический красный свет с длиной волны 632 нм. Предварительно перед инкубацией яйца взвешивали, отбирали по приблизительно одинаковой массе методом пар-аналогов и закладывали в инкубатор по 200 шт. при каждом экспериментальном режиме. В общей сложности в ходе эксперимента при трёх режимах было заложено 600 инкубационных яиц.

Для анализа морфологических росто-весовых показателей куриных эмбрионов и их висцеральных органов (сердце, мышечный желудок, печень, селезёнка) инкубируемые яйца (n=5) вскрывали на 14-е, 17-е, 19-е сутки. Длину тела эмбрионов измеряли от верхушки черепа до конца хвоста электронным штангенциркулем Finch Industrial Tools 19856 (Canada Inc.), длину тела цыплят – от гребня до среднего пальца стопы. Массу тела эмбрионов и цыплят, а также отдельных висцеральных органов определяли на аналитических весах Сартогосм ЛВ 210-А (Россия).

Для оценки физиологических показателей (частота сердечных сокращений (ЧСС), интенсивность дыхания по CO₂, базальный метаболизм (теплопродукция)) использовали метод скейлинга [8-10]. ЧСС и интенсивность дыхания по CO₂ рассчитывали на 14-е, 17-е, 19-е сутки, уровень базального метаболизма у эмбрионов кур – на 17-е и 19-е сутки инкубации.

ЧСС у куриных эмбрионов определяли по формуле аллометрической зависимости средней ЧСС в течении 80 % инкубации ($CrЧСС$, уд/мин⁻¹) от массы яйца ($M_{яйца}$, г), предложенной Н. Tazawa с соавторами [8] (1):

$$CrЧСС = 371 \times (M_{яйца})^{-0,121}. \quad (1)$$

Для определения интенсивности дыхания использовали формулу аллометрической зависимости уровня выделяемого углекислого газа (Q_{CO_2} , мл/ч) от массы тела ($M_{мела}$, г) эмбрионов кур в гомойотермной фазе, предложенную А.М. Болотниковым с соавторами [9] (2):

$$Q_{CO_2} = 1,84 \times M_{мела}^{0,739}. \quad (2)$$

Для описания уровня базального метаболизма (теплопродукции) в зависимости от скорости роста и массы тела куриных эмбрионов применяли уравнение наименьших квадратов, предложенное С.М. Vleck и D.F. Hoyt [10] (3):

$$P = 12,17 \times GR + 1,66 \times M + 1,81, \quad (3)$$

где P – уровень базального метаболизма, ккал/ч; GR – скорость роста, г/сутки; M – масса эмбриона, г; 1,66 ккал/г·ч – коэффициент массы, характеризующий затраты на поддерживающий метаболизм; 1,81 – константа, прогнозируемая скорость метаболизма эмбриона с нулевой массой (M) и скоростью роста (GR).

Статистический анализ данных проводили в программе Statistica 10.0.1011.0 (Statsoft Inc, USA, 2010). Нормальность распределения выборок определяли с использованием Shapiro-Wilk's W-test и Levene's test. При нормальном распределении выборок применяли параметрический дисперсионный анализ One-way Anova с апостериорным анализом Bonferroni test, при ненормальном – непараметрический критерий Mann-Whitney U-test.

Результаты и обсуждение. Под воздействием ПТ+КС на 14-е сутки эмбриогенеза масса тела куриных эмбрионов была меньше, чем в варианте ПТ, на 1,245 г (табл. 1, $p=0,013^a$), КС – на 0,611 г ($p=0,045^b$), массы сердца – на 0,010 г ($p=0,030^c$), в сравнении с ПТ. Масса мышечного желудка в этот же срок развития при ПТ была больше, по сравнению с КС, на 0,057 г ($p=0,005^c$), с ПТ+КС – на 0,045 г ($p=0,005^a$), селезёнки – на 0,002 г ($p=0,005^c$), только по сравнению с вариантом КС. На 17-е сутки развития воздействие ПТ+КС подавляло рост длины и массы тела на 0,784 см и 5,049 г, сердца – на 0,023 г, мышечного желудка – на 0,354 г, печени – на 0,099 г, по сравнению с ПТ ($p=0,005^a$), селезёнки – на 0,004 и 0,003 г, в сравнении с ПТ и КС ($p=0,005^{a,c}$). При КС на 17-е эмбриогенеза наблюдали увеличение массы тела на 4,790 г, сердца – на 0,041 г, мышечного желудка – на 0,344 г, печени – на 0,098 г, в сравнении с ПТ+КС ($p=0,005^b$). На 19-е сутки влияние ПТ+КС, а также ПТ проявлялось достоверно значимым снижением массы тела куриных эмбрионов на 3,464 г ($p=0,030^b$) и 1,916 г ($p=0,045^c$), в сравнении с КС, соответственно. К 19-м суткам инкубации воздействие ПТ стимулировало увеличение длины тела на 0,379 см, по сравнению с КС ($p=0,016^c$), и массы селезёнки на 0,005 г, в сравнении с КС и ПТ+КС ($p=0,016^{a,c}$).

Вне зависимости от режима инкубации прослеживается общая тенденция снижения ЧСС, повышение выделения CO₂ и теплопродукции у куриных эмбрионов с увеличением срока инкубации (рис. 1). Достоверно значимые различия в ЧСС наблюдали только на 17-е сутки при использовании режима инкубации с ПТ+КС.

Табл. 1. Влияние режима инкубации на абсолютные размеры тела эмбрионов кур и их висцеральных органов*

Показатель	Режим инкубации		
	ПТ	КС	ПТ + КС
14-е сутки развития			
ДТ, см	6,867±0,100	6,702±0,139	6,713±0,057
МТ, г	11,666±0,255 ^a	11,032±0,147 ^b	10,421±0,227
МС, г	0,105±0,002 ^a	0,096±0,002	0,095±0,002
ММЖ, г	0,326±0,007 ^{a,c}	0,269±0,003	0,281±0,005
МП, г	0,235±0,007	0,224±0,008	0,222±0,007
МСел, г	0,009±0,001 ^c	0,007±0,001	0,008±0,001
17-е сутки развития			
ДТ, см	8,324±0,012 ^a	8,135±0,375	7,540±0,198
МТ, г	21,100±0,441 ^a	20,841±0,731 ^b	16,051±0,564
МС, г	0,161±0,005 ^a	0,179±0,011 ^b	0,138±0,004
ММЖ, г	0,825±0,018 ^a	0,815±0,013 ^b	0,471±0,029
МП, г	0,468±0,003 ^a	0,467±0,015 ^b	0,369±0,018
МСел, г	0,014±0,001 ^{a,c}	0,011±0,001	0,010±0,001
19-е сутки развития			
ДТ, см	9,064±0,108 ^c	8,685±0,061	8,806±0,148
МТ, г	28,617±0,714	30,533±0,869 ^{b,c}	27,069±0,680
МС, г	0,205±0,006	0,235±0,018	0,216±0,003
ММЖ, г	1,220±0,077	1,384±0,152	1,167±0,021
МП, г	0,606±0,028	0,541±0,049	0,526±0,022
МСел, г	0,019±0,001 ^{a,c}	0,014±0,001	0,014±0,001

*здесь и в табл. 2 ПТ – переменные температуры; КС – красный светодиодное освещение; ПТ+КС – переменные температуры в сочетании с красным светодиодным освещением; а – статистически значимое различие между показателями при переменной температуре в сочетании с красным освещением (ПТ+КС), по отношению к переменной температуре (ПТ); b – статистически значимое различие между показателями при переменной температуре в сочетании с красным светодиодным освещением (ПТ+КС), по отношению к красному свету (КС); c – статистически значимое различие между показателями при переменной температуре (ПТ) и красным светодиодным освещением (КС). ДТ – длина тела, МТ – масса тела, МС – масса сердца, ММЖ – масса мышечного желудка, МП – масса печени, МСел – масса селезёнки.

Величина этого показателя возросла, по сравнению с режимом с ПТ, на 8,71 уд/мин⁻¹ ($p=0,000$), КС – на и 8,26 уд/мин⁻¹, что вероятно обусловлено стресс-реакцией куриных эмбрионов на совместное воздействие переменной температуры и светодиодного освещения во время инкубации.

При ПТ+КС выделение CO₂ куриными эмбрионами на 14-е сутки развития было ниже, по сравнению с эмбрионами, развивающимися при режимах с ПТ и КС, на 21,71 мл/ч ($p=0,013$) и 10,76 мл/ч ($p=0,045$), соответственно. Аналогичную тенденцию наблюдали на 17-е сутки развития, когда уровень выделения CO₂ и теплопродукции в варианте ПТ+КС был меньше на 77,06 мл/ч и 245,73 ккал/сут

($p=0,004$), чем при режиме с ПТ, и на 73,09 мл/ч и 246,17 ккал/сут ($p=0,000$), в сравнении с режимом с КС. На 19-е сутки развития при совместном воздействии ПТ+КС уровень выделяемого CO₂ был ниже, чем при режиме с КС на 47,20 мл/ч ($p=0,030$), ПТ – на 21,42 мл/ч ($p=0,077$). Уровень теплопродукции эмбрионов кур на 19-е сутки развития варьировал в незначительных пределах и чёткой зависимости выявить не удалось ($p>0,05$).

Режимы ПТ+КС и КС во время инкубации положительно влияли на развитие суточных цыплят (табл. 2). Выявлено достоверно значимое увеличение массы их тела на 2,35 г ($p=0,000^c$) при ПТ+КС и на 1,93 г ($p=0,004^c$) при КС, по сравнению с ПТ. Достоверных изменений в длине

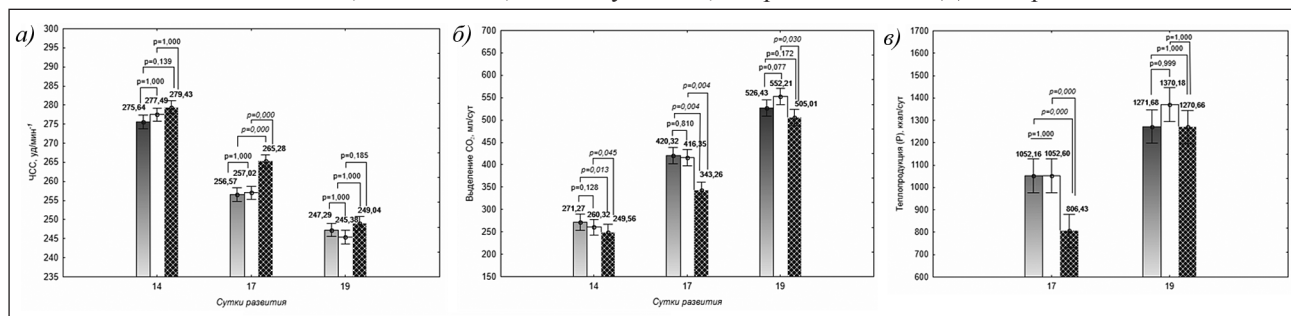


Рис. 1. Влияние ПТ, КС и ПТ+КС на ЧСС (а), интенсивность дыхания (б) и уровень базального метаболизма (в) у эмбрионов кур на 14-е, 17-е, 19-е сутки развития; ■ – ПТ, □ – КС, ▨ – ПТ + КС.

Табл. 2. Влияние режимов инкубации на качество суточных цыплят

Режим инкубации	Длина тела, см	Масса тела, г
ПТ (n=10)	18,21±0,15	43,11±0,30
КС (n=10)	18,27±0,20	45,04±0,39 ^c
ПТ+КС (n=10)	18,32±0,21	45,46±0,29 ^a

тела суточных цыплят в зависимости от режима инкубации не наблюдали.

Основную роль в регуляции роста, метаболизма, терморегуляции и реакции на стресс куриных эмбрионов отводят нейроэндокринным механизмам. Кроме того, есть сведения, описывающие развитие стрессовой реакции у куриных эмбрионов под действием исследуемых режимов инкубации [1, 2, 11]. На основе собственных результатов исследования и литературных данных разработана вероятная блок-схема центральных нейроэндокринных механизмов регуляции роста, метаболизма, иммунных реакций, терморегуляции и реакций на стресс куриных эмбрионов

на основе синергетического эффекта переменной температуры и красного светодиодного освещения (рис. 2). Согласно этой схеме, соматотропная ось (4) служит основным нейроэндокринным путём регуляции роста и метаболизма птиц [12]. С её участием контролируется синтез гормона инсулиноподобного фактора роста-1 (ИФР-1) (10) [13]. Соматотропин-рилизинг гормон (СТГ) (5), секретируемый преоптической зоной переднего отдела гипоталамуса (2), воздействует на переднюю долю гипофиза (7), вызывая секрецию соматотропина (гормона роста) (8). Соматостатин (СС) (6) снижает продукцию СТГ (5) гипофизом. Печень (9) вносит значительный вклад в концентрацию гормона инсулиноподобного фактора роста-1 (ИФР-1) (10) в плазме крови, и его секреция запускается соматотропином (8). Остальные ИФР-1 вырабатываются в различных тканях (11) с инициацией соматотропина и без него [13]. Регуляция секреции как соматотропина, так и ИФР-1 опосредована механизмами короткой и длинной отрицательной обратной связи (12) с участием гипоталамуса (2) [14]. Известно, что высокая температура инкубации (39,5 °С в течение 3 или 6 ч ежедневно) на поздних этапах эмбриогенеза (16...18-е сутки) увеличивает ЧСС и потребление O₂ эмбрионами

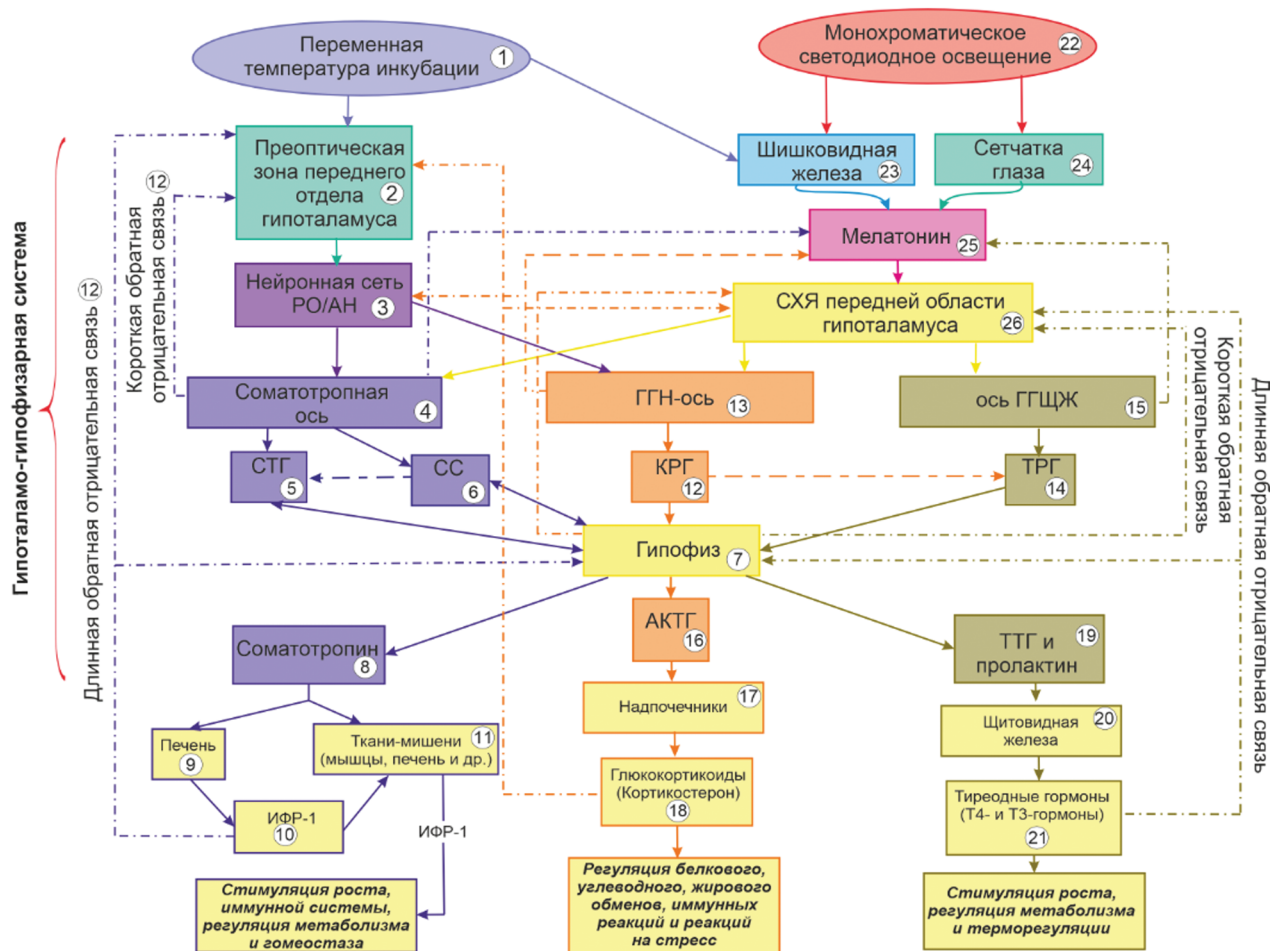


Рис. 2. Блок-схема центральных нейроэндокринных механизмов регуляции роста, метаболизма, иммунных реакций, терморегуляции и реакций на стресс куриных эмбрионов на основе синергетического воздействия переменных температур и монохроматического красного освещения: ГГН-ось – гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая ось; ось ГГЦЖ – ось гипоталамус-гипофиз-щитовидная железа; СТГ – соматотропин-рилизинг гормон; СС – соматостатин; КРГ – кортикотропин-рилизинг гормон; ТРГ – тиреотропин-рилизинг гормон; АКТГ – адренокортикотропный гормон; ТТГ – тиреотропный гормон; ИФР-1 – инсулиноподобный фактор роста-1; СХЯ – супрахиазматическое ядро передней области гипоталамуса; Т₄ – тироксин, Т₃ – трийодтиронин.

красса Cobb, повышает ИФР-1 скелетных мышц, усиливая пролиферацию и дифференцировку мышечных клеток, а также диаметр миофибрилл [15]. S. Yalcin с соавторами [16] установили, что воздействие температуры 38,8 °С с 10-х по 14-е сутки эмбриогенеза привело к увеличению массы тела, повышению экспрессии ИФР-1 и увеличению площади волокон в грудной мышце 42-дневных цыплят-бройлеров кроссов Ross308 и Cobb.

Существует гипотеза о том, что воздействие кратковременных переменных или постоянных температур ниже или выше оптимальных приводит к развитию эпигенетической памяти у куриных эмбрионов, которая усиливает устойчивость цыплят к низким или высоким температурам окружающей среды в постнатальный период. Эпигенетическая память связана с изменениями гормонального профиля, активности и экспрессии генов, которые контролируют систему терморегуляции [17, 18]. Ранее было показано, что эпигенетическая адаптация к переменным температурам, формирующаяся в течение эмбриогенеза, повышает вывод молодняка кур и его качество, по сравнению со стабильным режимом инкубации [19].

Переменные температуры инкубации (1) в эмбриональном развитии курицы (см. рис. 2) оказывают тренировочный эффект и приводят к изменениям в преоптической области передних гипоталамических нейронов (РО/АН) (3), что влияет на температурную чувствительность куриных эмбрионов [18]. Преоптическая зона переднего отдела гипоталамуса (2) участвует в регуляции синтеза кортикотропин-рилизинг-гормона (КРГ) (12) от гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (ГН-ось) (13) и тиреотропин-рилизинг-гормона (ТРГ) (14) от оси гипоталамус-гипофиз-щитовидная железа (ось ГГЩЖ) (15) гипоталамо-гипофизарной системы. КРГ (12) стимулирует переднюю долю гипофиза (7), что приводит к синтезу и секреции адренотропного гормона (АКТГ) (16), который, в свою очередь, вызывает секрецию надпочечниками (17) кортикостерона (18), регулирующего у эмбрионов кур белковый, углеводный, жировой обмен, иммунные реакции и реакции на стресс. КРГ (12) также играет роль в активации ТРГ (14), который стимулирует высвобождение ТТГ (19) гипофизом (7). ТТГ (19), в свою очередь, повышает уровень гормонов щитовидной железы (20), главным образом, гормона T_4 (тироксина) (21) [20]. Перед тем, как оказать воздействие на клетки органов-мишеней (все кроме селезёнки и семенников), большая часть тироксина непосредственно в клетках конвертируется в биологически активную форму – трийодтиронин (T_3) (21). Пролактин (19) регулирует функции щитовидной железы (20), обеспечивающие стимуляцию роста куриных эмбрионов, регуляцию у них метаболизма и терморегуляцию. Поскольку оси ГГЩЖ и ГН играют важную роль в адаптации терморегуляции организма [21, 22], модуляция температуры инкубации во время формирования этих осей в эмбриогенезе может улучшить термотолерантность птиц и вызывать долгосрочную адаптацию осей гипоталамо-гипофизарной системы в постнатальный период развития [23]. Имеющиеся литературные сведения ясно указывают, что на эмбриональное развитие осей ГГЩЖ и ГН влияют изменения температуры во время инкубации, которые формируются между 10,5...11,5 и 14...15 сутками эмбриогенеза продуктивных птиц соответственно [24, 2].

Светодиодное освещение во время инкубации (22) активирует фоторецепторы сетчатки глаз (23) и шишковидную железу (эпифиз) (24) – посредников гормона мелатонина (25), поступающего в кровь и спинномозговую жидкость (ликвор), проходящего через которую, накапливается в супрахиазматическом ядре передней области гипоталамуса (СХЯ) (26) гипоталамо-гипофизарной системы. Ось

ГГЩЖ (15) и ГН-ось (13) ответственны за ритмичную выработку мелатонина (25) [25, 26, 2].

Ранние исследования показали, что температура 39 °С в течение 3 ч/сут на 16...18-е сутки в сочетании с зелёным светодиодным освещением с 6-х суток до вывода стимулирует пролиферацию миобластов куриных эмбрионов Ross 308 [27, 28]. В работе T. Shah и S. Özkan [29] показано, что повышение температуры яичной скорлупы до 38,5 °С в течение 6 ч в сутки на 11...16-е сутки в комбинации с фотопериодом (16 ч освещение, 8 ч темнота) увеличивает длину тела суточных цыплят кросса Ross 308 и массу их печени.

В нашем исследовании показано, что эффекты синергетического воздействия сопровождались подавлением роста длины и массы тела, массы селезёнки и уровня метаболизма (по выделению CO_2) к периоду вылупления (19-е сутки), но повышением массы тела суточных цыплят. Известно, что кортикостерон влияет на функциональную активность соматотропной оси посредством ингибирующего действия на СТГ, который уменьшает рост тела путем подавления синтеза ИФР-1 [30]. Следовательно, можно предположить, что на фоне воздействия стресс-факторов (температура и свет) во время искусственной инкубации снижается функциональная активность соматотропной и ГГЩЖ осей посредством ингибирующего действия на СТГ и ТРГ, которые задерживают процессы роста и метаболизма у куриных эмбрионов в антенатальном онтогенезе.

Таким образом, ориентируясь на представленные данные, можно полагать, что механизмы, опосредующие возможные стимулирующие эффекты переменной температуры и красного светодиодного освещения яиц во время инкубации на развитие куриных эмбрионов и их органов, а также морфофизиологические процессы, связаны с пластическими изменениями в функциональной активности гипоталамо-гипофизарной системы в процессе эмбриогенеза и раннего постнатального онтогенеза. Так, при режиме ПТ+КС развитие эмбрионов кур и их селезёнки к 19-м суткам проходит медленнее, чем при режиме КС и ПТ, соответственно. Кроме того, воздействие ПТ+КС вызывает оптимизацию метаболизма у эмбрионов на 19-е сутки эмбриогенеза и вместе с тем повышает качество суточных цыплят, выражающееся в увеличении массы их тела на 1,93 г, в сравнении с ПТ.

Литература

1. *Chicken Incubation Conditions: Role in Embryo Development, Physiology and Adaptation to the Post-Hatch Environment* / K. Tona, K. Voemesse, O. N'nanlé, et al. // *Front. Physiol.* 2022. Vol. 13. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2022.895854/full> (дата обращения: 04.07.2022). doi: 10.3389/fphys.2022.895854.
2. Yalcin S., Özkan S., Shah T. *Incubation Temperature and Lighting: Effect on Embryonic Development, Post-Hatch Growth, and Adaptive Response* // *Front. Physiol.* 2022. Vol. 13. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2022.899977/full> (дата обращения: 04.07.2022). doi: 10.3389/fphys.2022.899977.
3. Archer G.S., Mench J.A. *The Effects of the Duration and Onset of Light Stimulation during Incubation on the Behavior, Plasma Melatonin Levels, and Productivity of Broiler Chickens* // *J. Anim. Sci.* 2014. Vol. 92. P. 1753-1758. doi: 10.2527/jas.2013-7129.
4. Rogers L.J. «*Environmental Influences on Development of the Embryo*» in *The Development of Brain and Behaviour in the Chicken*. Wallingford, Oxon: CAB International, 1995. P. 41-70.

5. Chelnokova M.I. Differential Incubation Temperature Effects on Growth of Hisex Brown Chick Embryos and Development of Their Visceral Organs // *Russian Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 47(4). P. 418-424. doi: 10.3103/S1068367421040042
6. Челнокова М.И., Сулейманов Ф.И., Челноков А.А. Развитие и метаболизм эмбрионов курицы в эмбриогенезе при разном светодиодном освещении яиц во время инкубации // *Ипнология и ветеринария*. 2021. № 4(42). С. 219-224.
7. Prenatal Effects of Red and Blue Light on Physiological and Behavioural Parameters of Broiler Chickens / A. Drozdová, Z. Kaňková, B. Bilčík, et al. // *Czech J. Anim. Sci.* 2021. Vol. 66. P. 412-419. doi:10.17221/80/2021-cjas.
8. Allometric relationships between embryonic heart rate and fresh egg mass in birds / Tazawa H., Pearson J.T., Komoro T., et al. // *J. Exp. Biol.* 2001. Vol. 204. P. 165-174. doi: 10.1242/jeb.204.1.165.
9. Болотников А.М. Каменский Ю.Н., Добринский Л.Н. Экология раннего онтогенеза птиц. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. 228 с.
10. Vleck C.M., Hoyt D.F. Metabolism and energetics of reptilian and avian embryos. Deeming C.D., Ferguson M.W. (red) Egg incubation: its effects on embryonic development in birds and reptiles. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. P. 285-304.
11. Scanes C.G. Perspectives on the Endocrinology of Poultry Growth and Metabolism // *General and Comparative Endocrinology*. 2009. Vol. 163. P. 24-32. doi: 10.1016/j.ygcen.2009.04.013.
12. Effects of Monochromatic Blue Light on Reducing the Adverse Impact of Induced Cyclic Chronic Heat Stress during the Thermal Manipulation of Broiler Embryos / L. Zeng, Q. Liu, T. Wang, et al. // *Oxid Med Cell Longev*. 2022. Vol. 2022. URL: <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2022/9898311/> (дата обращения: 04.07.2022). doi: 10.1155/2022/9898311.
13. Mcmurtry J.P., Francis G.L., Upton Z. Insulin-like Growth Factors in Poultry // *Domestic Animal Endocrinology*. 1997. Vol. 14. P. 199-229. doi: 10.1016/S0739-7240(97)00019-2.
14. Yakar S., Isaksson O. Regulation of Skeletal Growth and Mineral Acquisition by the Gh/igf-1 Axis: Lessons from Mouse Models // *Growth Hormone & IGF Research*. 2016. Vol. 28. P. 26-42. doi: 10.1016/j.ghir.2015.09.004.
15. Piestun Y., Halevy O., Yahav S. Thermal Manipulations of Broiler Embryos-The Effect on Thermoregulation and Development during Embryogenesis // *Poult. Sci.* 2009. Vol. 88. P. 2677-2688. doi: 10.3382/ps.2009-00231.
16. Yalcin S., Aksit M., Ozkan S., Hassanzadeh M., Bilgen G., Helva I. B., et al. Effect of Temperature Manipulation during Incubation on Body Weight, Plasma Parameters, Muscle Histology, and Expression of Myogenic Genes in Breast Muscle of Embryos and Broiler Chickens from Two Commercial Strains / S. Yalcin, M. Aksit, S. Ozkan, et al. // *Br. Poult. Sci.* 2021. Vol. 63. P. 21-30. doi: 10.1080/00071668.2021.1958297.
17. Nichelmann M., Janke O., Tzschentke B. Efficiency of Thermoregulation in Precocial Avian Species during the Prenatal Period // *J. Therm. Biol.* 2001. Vol. 26. P. 273-280. doi: 10.1016/s0306-4565(01)00030-4.
18. Tzschentke B., Basta D. Early Development of Neuronal Hypothalamic Thermosensitivity in Birds: Influence of Epigenetic Temperature Adaptation // *Comp. Biochem. Physiol. Part A: Mol. Integr. Physiol.* 2002. Vol. 131. P. 825-832. doi: 10.1016/s1095-6433(02)00020-x.
19. Челнокова М.И., Сулейманов Ф.И., Челноков А.А. Эпигенетическая адаптация эмбрионов кур кросса «Ломанн Браун» к переменным температурам инкубации // *Ветеринария*. 2022. № 3. С. 65-70. doi: 10.30896/0042-4846.2022.25.3.65-69.
20. Decuyper E., Kühn E. R. Thyroid Hormone Physiology in Galliformes: Age and Strain Related Changes in Physiological Control // *Am. Zool.* 1988. Vol. 28. P. 401-415. doi: 10.1093/icb/28.2.401.
21. Heat Stress Responses in Birds: A Review of the Neural Components / M.W. Bohler, V.S. Chowdhury, M.A. Cline, et al. // *Biology (Basel)*. 2021. Vol. 10. URL: <https://www.mdpi.com/2079-7737/10/11/1095> (дата обращения: 04.07.2022). doi: 10.3390/biology10111095
22. Ruuskanen S., Hsu B.-Y., Nord A. Endocrinology of Thermoregulation in Birds in a Changing Climate // *Mol. Cell Endocrinol.* 2021. Vol. 519. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.mce.2020.111088> (дата обращения: 04.07.2022). doi: 10.1016/j.mce.2020.111088.
23. Halevy O., Yahav S. The Effect of thermal Manipulations during the Development of the Thyroid and Adrenal Axes on in-hatch and post-hatch Thermoregulation / Y. Piestun, D. Shinder, M. Ruzal, et al. // *J. Therm. Biol.* 2008. Vol. 33. P. 413-418. doi: 10.1016/j.jtherbio.2008.06.007.
24. de Groef B., Grommen S.V.H., Darras V.M. The Chicken Embryo as a Model for Developmental Endocrinology: Development of the Thyrotropic, Corticotropic, and Somatotropic Axes // *Mol. Cell Endocrinol.* 2008. Vol. 293. P. 17-24. doi: 10.1016/j.mce.2008.06.002.
25. Various LED Wavelengths Affected Myofiber Development and Satellite Cell Proliferation of Chick Embryos via the IGF-1 Signaling Pathway / Y. Wang, X. Bai, Z. Wang, et al. // *Photochem. Photobiol.* 2017. Vol. 93. P. 1492-1501. doi: 10.1111/php.12806.
26. Effect of a Photoperiodic green Light Programme during Incubation on Embryo Development and hatch Process / Q. Tong, I.M. McGonnell, T.G.M. Demmers, et al. // *Animal*. 2018. Vol. 12. P.765-773. doi: 10.1017/s1751731117002117.
27. The Effects of thermal and Light Exposure on the Development of Broiler Chicken Leg Musculature / S. Stojanovic, D. Zikic, Z. Kanacki, et al. // *Arch. Biol. Sci. Belgra.* 2014. Vol. 66. P. 1547-1557. doi: 10.2298/abs1404547s.
28. Influence of Modified Incubation Factors on Meat Characteristics of Broiler Chickens / Z. Kanački, S. Stojanović, D. Žikić, et al. // *Anim. Sci. Pap. Rep.* 2017. Vol. 1. P. 87-96. doi: 10.2298/BAH1104605K.
29. Shah T., Özkan S. Effect of thermal Manipulation and Photoperiodic Lighting during Incubation on Hatching Performance, Hatching Time, Chick Quality and Organ Growth // *Ege Univ. Ziraat Fak. Derg.* 2022. Vol. 59. P. 17-31. doi: 10.20289/zfdergi.
30. Tolon R., Lopez J., Sanchez-Franco F. Corticosterone Modulates Growth Hormone-releasing Factor and Somatostatin in Fetal Rat Hypothalamic Cultures / G. Fernandez-Vazquez, L. Cacicedo, M.J. Lorenzo, et al. // *Neuroendocrinology*. 1995. Vol. 61. P. 31-35. doi: 10.1159/000126824.

Поступила в редакцию 19.07.2022
 После доработки 29.09.2022
 Принята к публикации 08.11.2022